



变废为宝

—— 鸡毛的利用

美

国的家禽加工业每年生产 80 多亿只烤鸡，留下大约 30 亿磅的废弃羽毛。然而，传统处置这些羽毛的方法并不完善。羽毛可加工成低档动物饲料，但需要消耗水和能源。也可以将它们焚烧或掩埋，但这又牵涉到存储和处理的问题，焚烧掉的羽毛还有热辐射控制和灰烬处置的问题。特拉华大学再生资源产品（ACRES）计划的主任 Richard Wool 发现了利用这些羽毛的新方法，可谓是一箭双雕。Wool 的办法是通过与家禽加工业巨头 Tyson 食品公司合作，探索用鸡毛制造另一种资源消耗的必需品—电路板。

新品种电路板

最简单的电路板是片薄薄的粘有一层铜箔的塑料片。多余的铜箔通常通过化学刻蚀工艺去除，元件则附在留下的铜箔上。美国环境保护局废物管理部第九区的副主任 Dave Jones 说：我们不仅要考虑产品制造的问题，还要考虑到产品使用期满后的处置问题。“开始时你只是关心铜的消耗和石油产品的问题，但在面对新资源的开采和利用时，你的决定对环境的影响是难以置信的，”他说。“然后你会考虑在制造电路板时除石化产品外还需加上什么，例如象氯这类的物质。”

Jones 说，当电路板使用寿命到期后，通常是将他们送到熔炼炉去。在那儿，金属被回收，而塑料则被烧掉。他说“我认为无论何时我们能找到不必使用新资源的办法，我们在许多方面就好办了。”

当你处理电脑内部发送的信号时，速度是关键，但是电流是个非常难伺候的家伙，而且容易受干扰。假如附近的物质带有大量与其相吸电荷的话（由于电路板上排列的元件体积越来越小，相互距离越来越近，使这种情况更为复杂），带负电荷的电子很容易被吸引到旁路去，Wool 称这种现象为“电子好奇”。而 Wool 的目标就是找到某种不发生相互作用的物质，作为新型电路板的基础。

他说，他还想找到“分量轻而结实，且含尽可能多空气的东

西。而羽毛就极轻，虽然空心却非常结实。在这点上羽毛是理想的。”羽毛由角蛋白构成，纤维状的角蛋白既轻又结实，足以承受机械和热应力。空心纤维的密度很低，在提供足够强度的同时，不会增加重量。

Wool 与 Tyson 公司建立了合作关系，由 Tyson 公司为他提供废羽毛做实验。Tyson 公司将羽毛洗干净并剔除羽茎，只留下充满空气的绒毛，再将绒毛压成薄薄的垫子。

Wool 用两种不同市售豆油制成几种不同比例的配方，涂在角蛋白纤维垫子的表面。对制好的板进行质量测试，其中包括刚性和浸润性（必须用豆油树脂将纤维浸透以达到所需介电常数），以及震动阻尼、热膨胀、物理性能参数的测试，这些参数在电子、汽车、宇航、国防和农业设备应用上是非常重要的。

迄今，最高档产品是用 30% 重量角蛋白制成的，其介电常数比二氧化硅或聚酰亚胺这类传统半导体绝缘材料低。通过比较，Wool 说，空气的介电常数为 1.0，二氧化硅为 3.8~4.2，角蛋白纤维的介电常数则为 1.6。这意味着在羽毛制的印刷电路板上，电子移动的速度是传统电路板的二倍。

新电路板的强度和刚性，也足以满足工业要求，而且与二氧化硅和聚酰亚胺的热膨胀系数相似。“这点很重要，”Wool 解释道，“因为热膨胀系数高会损害印刷电路，并导致脆性和耐用性问题。空气的热膨胀系数虽然非常高，但是，空气膨胀过程中产生的意外效应，即空气仅仅从角蛋白纤维中膨胀出来，使我们得到与对流差不多的冷却效果。”2004 年 6 月 2 日，Wool 在希腊 Rhodes 举行的第十一届合成材料欧洲会议上提出以上发现。

大豆的附加订单

Wool 使用大豆树脂是基于油的天然成分甘油三酸酯：三个脂肪酸一起连在甘油的结合点上。“通过较普通的精炼技术，我们可得到所需的脂肪酸分布，”他说。“接着，我们通过另一个简单的低温程序，用过氧化氢和蚁酸对油进行处理；再加入丙烯酸，就得到

了我们想要的性质。甘油三酸酯的优点是它们有阳性、阴性和中性各种类型，因此它们能作为基质黏附于几乎任何东西的表面。”

Wool说，最理想的是，你希望田里能直接长出你需要的脂肪酸，而不需要去做任何改变。“以现代遗传工程的能力肯定能做到这点，”他说，“事实上，我们在制造拥有专利的压力敏感粘合剂上已经做到了这点。”

Wool指出，所有环氧材料的制备都使用像蚁酸这样的危险中间体。他说：“这项工艺对环境的积极影响是减少石油的使用，同时田野里大豆生长时期的二氧化碳光合作用也相应减少了地球的温室气体。”介电常数也起一定作用：电路板环氧树脂介电常数的现代工业标准，以FR4复合物为例，其范围可在3.9~4.8间不等，因制造商而异。

Wool估计，制造商如要生产足以跟上Tyson公司产生的二十亿磅鸡毛的环氧树脂，约需二亿蒲式耳的大豆。然而与美国的大豆生产相比，那只是很小一部分，据美国农业部(USDA)估计，2003年大豆产量接近30亿蒲式耳。

Wool谨慎地指出：生产像大豆树脂这样基于生物的产品成本并不一定低廉。他说：“一般来讲，基于生物的产品耗能较少。”“但也有例外，如乙醇的制备就消耗大量能量。不过，总体上，基于生物的产品较基于石油的产品消耗较少的水和能量。”

Wool说，我们的石油短缺已经达到底线。由于石油的短缺，以植物替代石油资源的需求在增加，而植物在许多方面对环境更有利而且是再生的。“许多种油类作为产品使用后可生物降解，这样就在另方面减轻了对环境的压力”他补充道。

经济上的考量

在比较基于角蛋白的电路板和传统电路板间的差异时，Jones指出，有必要进行许多对比研究以确定到底有哪些改进。“各种电路板制造工



鸡毛探密：鸡毛的显微照相（上图）显示空心角蛋白纤维，一种轻而坚韧的物质。将这些纤维与基于大豆的环氧树脂结合制成的印刷电路板（右图）不仅可重复利用而且比传统电路板运行得快。



艺需多少能量呢？”他问道，“要用多少种和哪些种类的酸和其他化学物？需要多少水？每种方法各产生多少污染？在你声称一种工艺优于任何其他工艺前，必须回答所有这些问题。”

Chavonda Jacobs-Young是美国农业部的州协作研究、教育和扩大服务的国家研究项目竞争基金计划的国家级项目领导人。她说Wool的研究属于她所领导部门的范围，她的部门在帮助农民在全球变得更有竞争力的同时，也支持开发具有附加值的产品，这些产品非但不需要利用非再生资源，还可以向那些被认为需要管理的废物提供有建设性和亲环境的用途。

用基于生物的材料替代传统材料在许多方面具有正面影响，”她说。“通过降低对国外（石油）资源的依赖程度，可以提高国家安全，提高我国农业的生存能力。任何时候，你能将通常已是废物的东西变成终端用户的产品，只可能对环境产生积极的影响。”

电路板工业顾问John Fisher说，工业界正在几个方面朝“绿色”方向努力，其中包括停止使用铅焊料和开发无卤素照明等。但是有许多因素必须考虑到。“任何新开发产品的第一个考虑因素就是成本，因为随着国际竞争的激化，该行业正在成为成本竞争的工业，”他说，“其他因素包括环保以及电子和机械性能。如果有人能拿出符合以上任何标准的东西，他将能找到愿意接受该产品的那部分市场。”

他解释说，例如，由电视、洗衣机和类似产品构成的低端市场，对成本最感兴趣。“这些用户努力从他们的成本中节省每一个铜板，因而经济实惠是巨大的动力，”他说。而另一方面，高端市场对电子和机械性能更感兴趣。与此同时，环境因素则是整个工业关心的问题。

电子鸡会飞吗？

Wool说接下来要做的事情就是找一个电子制造商，一个愿意尝试这一新技术的制造商，这可能发生在不久的将来。“现在，除了可以告诉你它是世界上最大的制造商之一以外，我还暂时不能公布其名字，”Wool说，“目前我与这个制造商进一步合作研究的资助申请正在等待美国农业部的审批。预计大概还有两个月就能得到美国农业部的答复。在此期间，芯片制造商正对其加工工艺进行测试，以测定高温处理下的耐



严重的鸡毛问题：美国的家禽加工业每年生产80多亿只烤鸡，留下大约30亿磅的废弃羽毛。

受性，确定介电系数和功耗因素，并研究与制造工序相关的其他问题。”

依然还有一些关键问题有待解决，其中包括大豆树脂的设计和配方，以确保在计算机使用的频率下，介电损失正常。Wool 正在对制造电路板的材料及工艺作进一步的改进和提高，以达到电器性能最优化。

“电子材料将不会停止发展。” Wool说，“因为这是个高能耗的行业，石油将退出行业舞台，以较少能耗做更多事情的担子就落到了我们肩上。除了将每道工序的垃圾降到最低限度，能效最大化外，我们别无选择。以上的革新只是我们在该领域迈出的重要一步。”

—Lance Frazer

译自 EHP 112:A564–A567 (2004)

参考读物

Crede KL. 1995. Environmental effects of the computer age. *IEEE Trans Prof Commun* 38(1):33–40.

Hong CK, Wool RP. 2003. Low Dielectric Constant Materials from Soybean Oils and Hollow Keratin Fibers. *CCM Research Review* 4/30/03. Newark, DE: University of Delaware Center for Composite Materials.

Khot SN, LaScala JJ, Can E, Morye SS, Williams GI, Palmese GR, Kusefoglu SH, Wool RP. 2001. Development and application of triglyceride-based polymers and composites. *J Appl Polym Sci* 82(3):703–723.

Wallenberger FT, Weston N, Chawla K, Ford R, Wool RP, eds. 2002. Advanced Fibers, Plastics, Laminates and Composites: Proceedings of the 2001 Fall Meeting of the Materials Research Society, 26–30 November 2001, Boston, Massachusetts. *MRS Proceedings Volume 702*. Warrendale, PA: Materials Research Society.

电子工业，铅及垃圾填埋场

具有讽刺意义的是，我们一些最先进的工业技术被抛弃时，可能代表着技术在迅速地更新换代，但同时也意味着我们不时会暴露于曾折磨过古罗马人的毒物：铅。几乎所有的电器都含有铅，而这些产品的数量正以惊人的速度激增，并在若干年后成为废物。佛罗里达大学的一位环境工程师正在研究垃圾填埋场中电器的铅对环境的潜在影响。在一个由美国环境保护局 (EPA) 资助，于 2004 年 7 月 15 日出版的报告中，Timothy G. Townsend 描述了他对 12 种不同的电子产品研究结果。他发现，这些产品释放铅的浓度已超过了美国环境保护局规定的危险废物值。

Townsend 的目的在于帮助填埋场监督者和管理者决定如何利用有限资源。他解释说，“或许他们必须选择什么类型的废物进行再利用——轮胎还是电器”。他说，通过监测电子产品是否释放有毒化学物，“我们可以帮助他们作出决定”。他强调选择铅来测定是因为在他使用的测试程序（模拟填埋场的条件），铅碰巧很容易析出，因此铅有可能会从填埋场渗透出来。

Townsend 的报告“RCRA 计算机中央处理器和其他废弃电子设备的毒性特征”（*RCRA Toxicity Characterization of Computer CPUs and Other Discarded Electronic Devices*），扩展了他早期有关计算机屏幕和电视机中的阴极射线管 (CRTs) 的研究。阴极射线管平均含约 4 磅的铅。其他电子设备所用的焊接剂中，铅的含量少一些。

Townsend 采用美国环保局的测试方法——废弃物毒性特性溶出程序 (TCLP)——对各种电器进行了测试。其中包括计算机中央处理器、电视机、摄像机、打印机、手机、遥控器、计算机鼠标、键盘以及烟雾报警器。TCLP 测试可确定废物中毒物的流动情况。依照处理程序，电器先被磨碎，然后与乙酸（模拟电器浸出液）混合，在鼓型容器中旋转 18 个小时，之后测定浸出液中的金属浓度。在 TCLP 测试中，若铅浓度超过 5mg/L，则被认为是有害的。Townsend 测试的所有电器，在某些条件下释放的铅都超过了该数值。

但是填埋场的铅真的已成为健康威胁吗？位于伊利诺斯 Northbrook 市的一个工业行会，电子工业联合会 (IPC)，环境政策处主任 Fern Abrams 说：“还没有证实铅真的能从填埋场泄露出来”。尽管已知铅

确实存在于填埋场，其中一些铅可能来源于其他的废弃物。“电子废物一般只占垃圾填埋场的 1%。”俄勒冈州环境质量部的一名政策分析家 Jan Whitworth 说。即使在填埋场浸出液中发现铅，也很难肯定它是来源于废弃的电器。

尽管如此，出于对填埋场的担忧，欧盟已决定从 2006 年开始禁止在一些电子设备中使用含铅焊接剂。加利福尼亚州已经禁止在生活垃圾填埋

废物泛滥：最新产品问世后，旧的电子产品被弃置并倾倒在垃圾场。这些废物是否会以危险速率释放有害铅？

场丢弃阴极射线管和电视机。正在对逐步淘汰含铅焊接剂进行评估的加利福尼亚大学 Irvine 分校社会生态学副教授 Oladele Ogunseitan 认为，当无法找到替代品时，在要求回收利用的前提下允许制造商使用有害材料是可以讲得过去的。今天，许多计算机制造商回收废弃的计算机，但消费者通常需要支付一定费用。

其他人认为，总而言之，有害物质应该从产品中清除出去。Mamta Khanna 是加利福尼亚州奥克兰市一个活跃的非盈利机构——环境卫生中心预防污染项目的负责人。她希望电器制造商为他们的产品承担起“一辈子”的责任。“一旦他们必须承担废弃产品的回收处理，他们会使用少一些有害材料，” Khanna 说，“为什么要等若干年来研究确定这些有害物质何时开始泄露并毒害我们，为什么不让电器制造商从现在开始使用更安全的材料呢？” Khanna 同时指出电器废物与其他潜在有毒化学物如汞、铬、溴化阻燃剂等也有关联。

为了能比在实验室进行的 TCLP 测试更准确地模拟填埋场的情况，Townsend 目前进行实地焚烧垃圾和电子废弃物的试验。通过定期模拟降雨，让水渗透废弃物产生浸出液。试验结果将在两年后完成，据环境保护专家 Marilyn Goode 介绍，美国环保局计划明年（2005 年）签署一个条例来限制阴极射线管在全国范围的弃置。

—Valerie J. Brown

译自 EHP 112:A734 (2004)

